
MEMPELAJARI INTERKONEKSI ANTARA SUMUR PANTAU BENDUNGAN SENGGURUH DENGAN PERUNUT TRITIUM

Paston Sidauruk

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi - BATAN, Jakarta

ABSTRAK

MEMPELAJARI INTERKONEKSI ANTARA SUMUR PANTAU BENDUNGAN SENGGURUH DENGAN PERUNUT TRITIUM. Penelitian interkoneksi antara sumur pantau sekitar bendungan Sengguruh telah dilakukan dengan metode perunut radio isotop tritium. Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan contoh air dari 16 titik (13 berupa sumur pantau dan 3 berupa air keluaran) yang berada di sekitar bendungan beberapa saat setelah injeksi perunut tritium. Pengambilan contoh dilakukan secara berkala dengan frekuensi pengambilan lebih rapat pada awal penelitian dan kemudian diregangkan sebagai fungsi waktu. Untuk setiap contoh yang diambil dimasukkan dalam botol contoh untuk kemudian dinalisis di laboratorium PATIR-BATAN di Jakarta. Hasil interpretasi analisis aktifitas tritium dari contoh yang dikumpulkan dari 16 titik pengambilan contoh menunjukkan adanya interkoneksi antara beberapa sumur pantau. Disamping itu juga, hasil interpretasi menunjukkan bahwa beberapa sumur pantau tidak berada pada akifer yang sama.

Kata kunci : interkoneksi, bendungan sengguruh, perunut tritium, sumur pantau

ABSTRACT

STUDY OF THE INTERCONNECTION AMONG OBSERVATION WELLS IN SENGGURUH DAM USING TRITIUM TRACER. Study of the interconnection among observation wells and discharge waters in Sengguruh dam has been conducted using tritium tracer. The study was conducted by sampling water from 16 sampling points which consists of 13 observation wells and 3 water discharges around the dam. Sampling was done periodically with a relatively higher frequency at the beginning of study. Each collected sample is put into prepared sample bottles. The samples then sent to the Laboratory of PATIR-BATAN in Jakarta to be analyzed for tritium activity. From the data, it can be interpreted some of the observation wells are connected with each other. The study also shows that some of the observation wells are penetrating different aquifers.

Key word : interconnection, sengguruh dam, tritium tracer, observation wells

PENDAHULUAN

Bendungan Sengguruh adalah bendungan multiguna yang diantaranya sebagai penyedia air minum dan pembangkit listrik (1, 2, 3). Di samping itu, bendungan Sengguruh yang terletak di hilir bendungan Sutami mempunyai peran lainnya yang

penting yaitu untuk mengurangi beban sedimentasi bendungan Sutami. Untuk itu, sistem manajemen bendungan yang dapat menjamin keselamatan bendungan itu sendiri dan melindungi kehidupan manusia perlu diterapkan.

Dalam perkembangannya, telah tercatat beberapa masalah yang dialami oleh bendungan yang tidak hanya mengancam keselamatan bendungan itu sendiri tetapi juga membahayakan kehidupan manusia (4, 5). Rembesan atau bocoran adalah salah satu masalah yang sering dihadapi dalam sistem manajemen bendungan. Penanganan masalah kebocoran adalah sangat penting karena masalah bocoran tidak hanya menyangkut masalah kehilangan air tetapi yang paling penting adalah menyangkut keselamatan bendungan itu sendiri (4, 5). Bendungan Sengguruh yang dibangun pada tahun 1988 dengan kapasitas tampung reservoir sebesar 21,5 juta m³ telah mengalami beberapa masalah (1, 2, 3). Di samping pendangkalan oleh sediment yang cukup tinggi, bendungan Sengguruh juga mengalami indikasi awal terjadinya rembesan/ bocoran dari waduk. Kecurigaan terjadinya rembesan/bocoran dari waduk terlihat dari keluarnya beberapa air keluaran di sekitar bendungan. Sebelum dilakukan langkah perbaikan atau tindakan lebih lanjut maka perlu dilakukan penelitian awal untuk melihat asal-usul air keluaran tersebut.

Untuk tujuan penelitian yang demikian, Pusat Penelitian Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi-BATAN dan PERUM JASA TIRTA I sebagai pengelola bendungan Sengguruh mengadakan kerja sama untuk menyelidiki keterhubungan antara sumur-sumur pantau yang terdapat disekitar bendungan dengan menggunakan perunut radioisotop tritium (*T*). Penyelidikan dilakukan dengan penginjeksian perunut isotop tritium (*T*) pada sumur salah satu pantau yaitu W-12. Jenis perunut ini dipilih karena waktu paruhnya yang relatif panjang yaitu 12,32 tahun yang memungkinkan melakukan pengamatan yang relatif panjang yaitu sekitar 6 bulan. Pengamatan dalam waktu yang relatif panjang dalam penyelidikan ini dibutuhkan karena kecepatan air tanah adalah sangat kecil khususnya di daerah bendungan yang memang dirancang untuk membuat agar kecepatan air tanah menjadi sekecil mungkin. Setelah injeksi contoh air secukupnya akan dikumpulkan dari setiap sumur pantau dan air keluaran secara berkala. Dari hasil analisis aktifitas tritium dan iterpretasi kurva *breakthrough* (6)

(kurva cacahan vs waktu) maka hubungan antara sumur pantau maupun air keluaran dapat dipelajari.

Metode Pelaksanaan

Pada penelitian ini isotop Tritium diinjeksikan ke dalam sumur pantau W-12. Kemudian contoh air sebanyak 100 ml dari setiap sumur pantau yang berada disekitar bendungan akan dikumpulkan secara berkala. Lama pemantauan direncanakan akan berlangsung selama 6 bulan. Diharapkan dalam kurun waktu ini keterhubungan sumur pantau yang ada disekitar bendungan dengan sumur pantau W-12 sudah dapat ditentukan. Skema pengumpulan contoh dirancang lebih rapat pada awal pekerjaan yaitu sesaat setelah injeksi isotop kemudian direnggangkan sebagai fungsi waktu. Rencana skema pengambilan contoh air adalah sebagai berikut: pada awal pekerjaan pengambilan contoh dilakukan sekali dalam 1 hari selama 5 hari, kemudian satu kali dalam seminggu selama 3 minggu yang dilanjutkan dengan sekali dalam dua minggu untuk 2 periode pengambilan contoh dan akhirnya pengambilan contoh dilakukan sekali dalam 1 bulan selama 4 bulan. Periode pengamatan ini dapat lebih singkat dari yang direncanakan sesuai dengan hasil yang diperoleh di lapangan. Contoh air yang dikumpulkan kemudian dibawa ke laboratorium PATIR-BATAN untuk dianalisis kandungan Tritiumnya. Dari analisis kandungan Tritium serta variasinya sebagai fungsi waktu maka akan diperoleh informasi tentang keterhubungan antara sumur pantau W-12 dengan sumur pantau lainnya.

Alat dan bahan

- a. Satu unit alat injeksi isotop.
- b. Isotop Tritium dengan aktifitas sebesar 6 Ci.
- c. Peralatan pengambilan contoh air.
- d. Botol contoh.
- e. Peralatan penentuan kandungan Tritium dalam contoh air (Liquid Scintillation Counter dan alat penunjangnya).
- f. Satu unit alat keamanan radiasi.

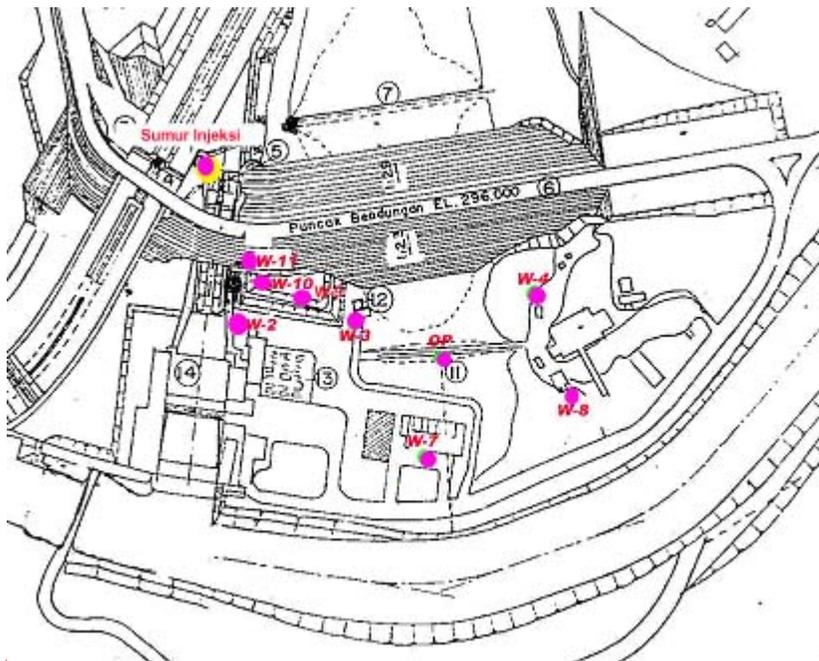
Perunut Tritium

Perunut yang digunakan dalam penelitian ini adalah perunut isotop tritium. Tritium adalah salah satu isotop hydrogen bermassa 3 dengan symbol T atau ^3H . Tritium adalah perunut radioaktif yang memancarkan partikel- β . Perunut ini dipilih karena selain sifat fisiknya yang bercampur sempurna dengan air, juga karena waktu paruhnya yang 12,32 tahun dapat mengakomodir penelitian yang diperkirakan dapat berlangsung selama 6 bulan. Karakteristik perunut penting lainnya dapat dilihat dalam tabel 1 berikut:

Table 1. Karakteristik Tritium

Karakteristik	Jenis/Besaran
Waktu paruh	- 12.32 tahun
Memancarkan partikel	- β
Energi maksimum	- 18.6 keV
Energi rata-rata	- 5.7 keV
Aktifitas jenis dalam T_2O adalah ^{4,7}	- 2,700 Ci g^{-1}
ALI (Annual limit intake) ^{4,7}	- 80 mCi
MPC (Maximum permissible concentration) (4,7)	- $1 \times 10^{-3} \mu\text{Ci cm}^{-3}$ = 10^{-9}Ci/ml

Perunut diinjeksikan pada sumur W-12 sebesar 3 Ci pada tanggal 22 Desember 2006. Sebelum pelaksanaan injeksi, pengumpulan contoh air dari tiap sumur pantau dan air keluaran yang ada sekitar bendungan telah dilakukan untuk menentukan besar aktifitas tritium latar belakang. Lokasi injeksi perunut (W-12) dan pengambilan contoh disajikan pada Gambar 1. Titik pengambilan contoh terdiri dari 13 sumur pantau yang diberi kode W-2, W-3A, W-3B, W-4A, W-4B, W-7A, W-7B, W-8A, W-8B, W-9, W-10, W-11, dan OP. Disamping itu, 4 titik pengambilan contoh berupa air keluaran disekitar Penstock yang diberi kode P-1, P-2, P-3, dan T-total.

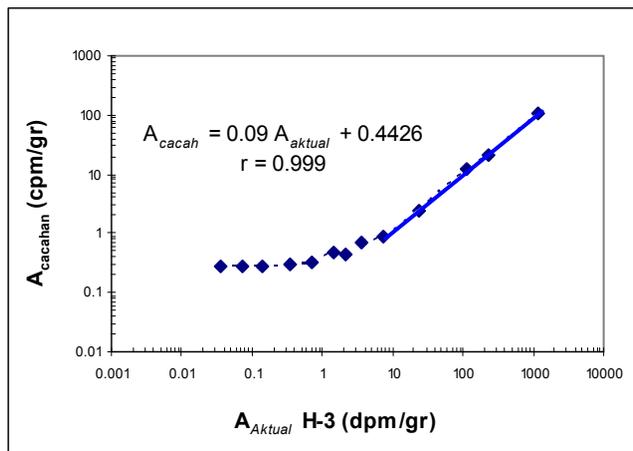


Gambar 1. Titik injeksi dan pengambilan contoh

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva Kalibrasi

Untuk menjamin ketelitian hasil cacahan yang diperoleh, alat pencacah yang digunakan (*Liquid Scintillation Counter, LSC*) untuk analisis contoh terlebih dahulu dikalibrasi. Kalibrasi dilakukan untuk menentukan titik limit deteksi dan efisiensi alat. Kurva kalibrasi antara harga aktifitas tritium sebenarnya terhadap harga terdeteksi diperlihatkan psds Gambar 2. Kurva kalibrasi diperlukan karena pengukuran aktifitas Tritium alam dalam contoh air bisanya dilakukan dengan terlebih dahulu melalui langkah pengkayaan (*enrichment process*) melalui proses elektrolisa. Namun karena pada penelitian ini digunakan isotop tritium buatan maka pengukuran dilakukan secara langsung tanpa proses pengkayaan.



Gambar 2. Kurva kalibrasi tritium dengan alat LSC

Dari gambar 2 dapat dilihat, walaupun secara umum alat pencacah secara benar dapat memprediksi kecenderungan aktifitas, namun kesesuaian hasil antara harga yang sebenarnya dengan hasil deteksi baru terjadi pada cacahan ~ 1 cpm/ml. Setelah aktifitas ini, kurva antara aktifitas aktual dengan cacahan merupakan garis lurus dengan $slope = 0.09$ dan koefisien korelasi hampir sempurna yaitu $r = 0.999$. Dengan demikian dalam analisis contoh di bawah ini limit deteksi yang digunakan adalah 1 cpm/ml dan efisiensi alat adalah 0.09.

Hasil yang diperoleh

Hasil yang diperoleh dari analisis contoh yang dikumpulkan dapat dilihat pada Tabel 2 dan ditampilkan dalam Gambar 2 sampai dengan Gambar 9. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa aktifitas tertinggi tritium yang diamati terjadi pada sumur W-7A yaitu ~ 650 cpm/ml (~ 11 cps/ml). Jika aktifitas ini dikonversi kedalam satuan yang lebih umum Ci/ml maka diperoleh nilai sebagai berikut :

$$11 \text{ cps/ml} = \frac{11 \text{ cps/ml}}{0,09 \text{ (eff) cps/bq}} \times \frac{1}{3,7 \times 10^{10} \text{ bq/Ci}} = 3,2 \times 10^{-9} \text{ Ci/ml}$$

Dari sini dapat dilihat bahwa aktifitas tertinggi yang diamati dalam pelaksanaan penelitian ini masih dalam orde yang sama dengan aktifitas yang diizinkan (MPC) yaitu

sebesar 10^{-9} Ci/ml. Hal ini menunjukkan bahwa perencanaan dan pelaksanaan penelitian sudah sesuai dengan standar keselamatan.

Tabel 2 menunjukkan bahwa dari semua titik pengambilan contoh yang diamati, anomali aktifitas tritium hanya terjadi pada 6 titik pengambilan contoh yaitu pada sumur pantau W-2, W-7A, W-7B, W-9, W-10, dan W-11. Sedangkan pada titik sampling yang lain tidak menunjukkan adanya anomali aktifitas tritium. Dengan demikian tabel 2 hanya memuat data aktifitas atau aktifitas tritium pada sumur pantau yang mengalami anomali. Dari 6 sumur pantau yang mengalami anomali aktifitas tritium, yang menarik adalah sumur W-7A dan W-7B walaupun jaraknya relatif lebih jauh dari titik injeksi W-12 jika dibanding dengan jarak dari empat sumur pantau yang lain namun muka kabut tritium yang diinjeksikan di W-12 lebih dahulu mencapai kedua sumur pantau ini. Dari Tabel 2 dapat dilihat, bahwa waktu yang dibutuhkan oleh muka kabut perunut untuk mencapai sumur pantau W-7A dan W-7B adalah kurang dari 7 hari. Sedangkan waktu yang dibutuhkan oleh muka kabut perunut untuk mencapai 4 sumur pantau lainnya (W-2, W-9, W-10, dan W-11) lebih besar dari 7 hari (~ 10 hari). Skema perjalanan perunut dari sumur injeksi W-12 ke enam sumur yang mengalami anomali cacahan dapat dilihat dalam Gambar 10. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan aliran yang menuju W-7A dan W-7B adalah jauh lebih cepat dari kecepatan aliran yang menuju 4 sumur pantau lainnya. Disamping itu, jumlah perunut yang menuju W-7A dan W-7B juga lebih besar seperti dapat dilihat dari perbandingan puncak kurva *breakthrough* W-7A yang mencapai 650 cpm/ml sedangkan puncak tertinggi kurva *breakthrough* lainnya hanya mencapai 450 cpm/ml. Fenomena ini menunjukkan heterogenitas dari aquifer. Hal ini menunjukkan beberapa kemungkinan:

1. Permeabilitas lapisan yang mengarah ke W-7A dan W-7B adalah cukup tinggi jika banding dengan permeabilitas lapisan aquifer yang menuju W-2, W-9, W-10, dan W-11, atau
2. Aliran airtanah yang menuju W-2, W-9, W-10, dan W-11 terhambat oleh lapisan kedap atau konstruksi lainnya sehingga air perlu berputar melalui lapisan yang permeabilitasnya lebih tinggi untuk mencapai W-2, W-9, W-10, dan W-11.

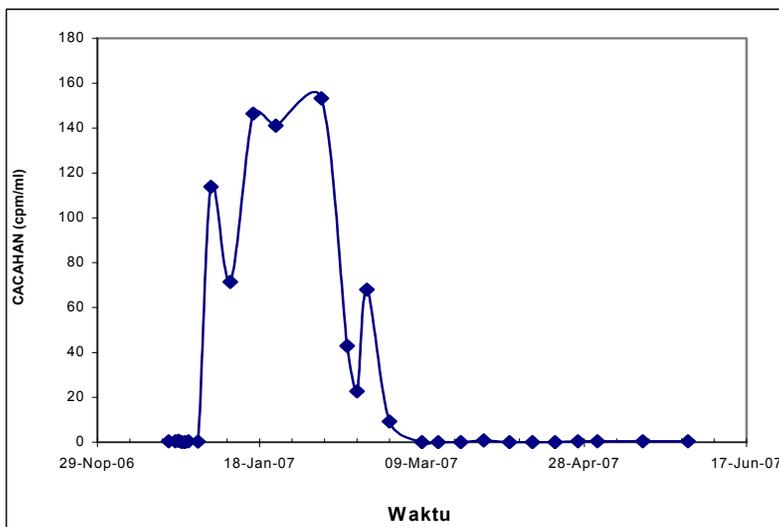
Table 2. Hasil analisis aktifitas Tritium contoh air dari sumur pantau

Tgl/Kode	W2	W7A	W7B	W9	W10	W11	W12 (Titik injeksi)
	(cpm / ml)						
21-Dec-06	0.429	0.372	0.298	<i>Tda</i>	0.315	0.358	<i>Tda</i>
23-Dec-06	0.394	0.359	0.426	<i>Tda</i>	0.512	0.393	<i>Tda</i>
24-Dec-06	0.649	0.363	0.327	<i>Tda</i>	0.381	0.393	<i>Tda</i>
25-Dec-06	<i>Tda</i>	0.386	0.673	<i>Tda</i>	0.51	0.505	<i>Tda</i>
26-Dec-06	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	0.447	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>
27-Dec-06	0.337	0.31	0.35	0.34	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>
30-Dec-06	0.31	436.62	193.436	0.383	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>
3-Jan-07	113.837	648.993	160.389	457.933	0.34	0.303	<i>Tda</i>
9-Jan-07	71.383	407.09	<i>Tda</i>	146.197	229.187	238.177	<i>Tda</i>
16-Jan-07	146.49	244.863	224.171	392.467	182.197	166.783	<i>Tda</i>
23-Jan-07	141.12	3630.37	183.78	311.707	81.233	247.683	<i>Tda</i>
6-Feb-07	153.19	653.94	152.253	63.723	70.177	131.083	<i>Tda</i>
14-Feb-07	42.927	<i>Tda</i>	77.793	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	5398875
17-Feb-07	22.67	<i>Tda</i>	45.53	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>
20-Feb-07	67.957	286.886	44.393	<i>Tda</i>	0.333	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>
27-Feb-07	9.257	43.049	33.692	<i>Tda</i>	0.327	52.702	<i>Tda</i>
9-Mar-07	<i>Tda</i>						
14-Mar-07	<i>Tda</i>	26.989	15.862	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	18.067	<i>Tda</i>
21-Mar-07	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	9.105	<i>Tda</i>
28-Mar-07	0.831	93.742	4.606	<i>Tda</i>	0.396	4.806	<i>Tda</i>
5-Apr-07	<i>Tda</i>						
12-Apr-07	<i>Tda</i>	71.19	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	<i>Tda</i>	3.322	<i>Tda</i>
19-Apr-07	<i>Tda</i>						
26-Apr-07	0.395	74.469	1.32	<i>Tda</i>	0.388	3.44	1699260
2-May-07	0.395	60.741	1.065	<i>Tda</i>	0.415	2.5565	<i>Tda</i>
16-May-07	0.3725	34.896	0.945	<i>Tda</i>	0.3875	1.2865	<i>Tda</i>
30-May-07	0.4015	34.8815	0.8335	<i>Tda</i>	0.375	1.5485	17950

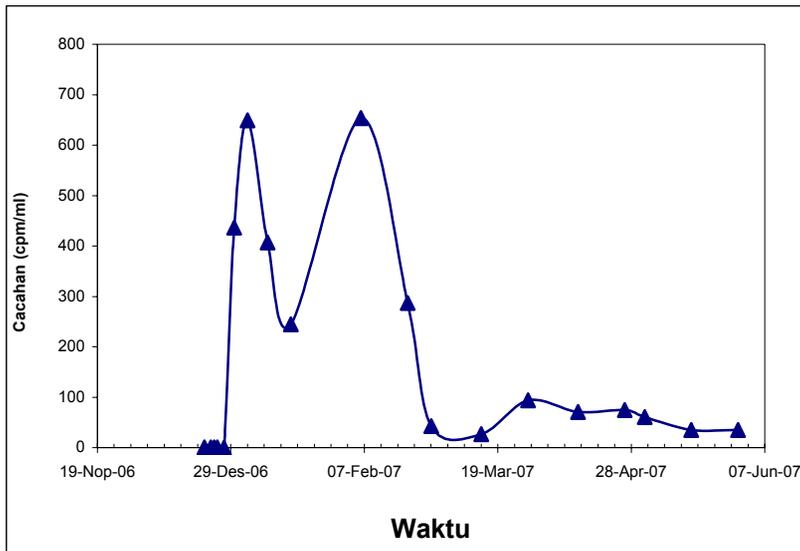
Keterangan : *Tda* = Tidak dianalisis

Di sisi lain, walaupun secara proyeksi linear sumur W-3A dan W-3B berada antara sumur injeksi W-12 dengan W-7A dan 7B namun aktifitas tritium pada sumur W-3A dan 3B tidak menunjukkan adanya anomali. Hal ini menunjukkan bahwa W-3A dan 3B tidak berada pada lapisan aquifer yang sama dengan W-12 ataupun W-7A dan 7B. Aktifitas tritium pada sumur pantau W-4A dan 4B serta W-8A dan W-8B juga tidak menunjukkan adanya anomali dari aktifitas latarbelakang. Hal ini mungkin disebabkan oleh tinggi muka air yang lebih tinggi pada sumur pantau ini.

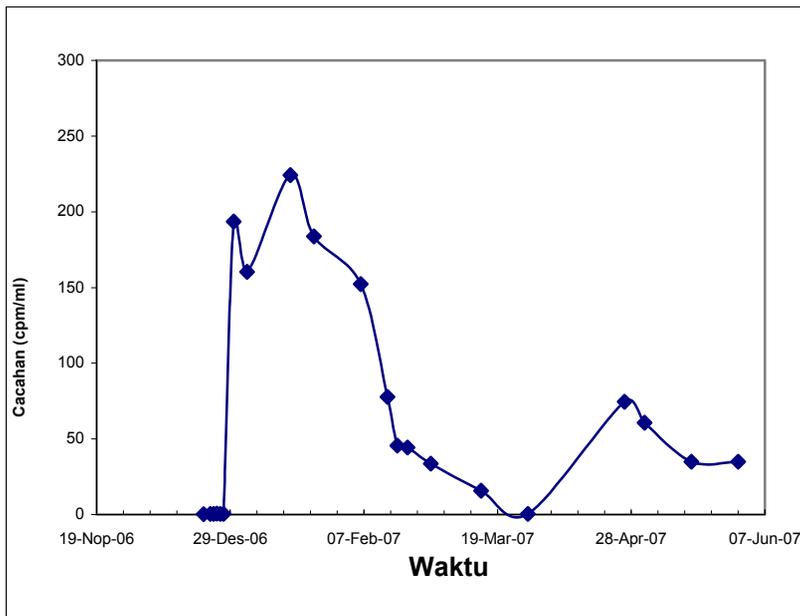
Di samping itu, dapat juga diamati bahwa aktifitas tritium dari seluruh titik pengamatan secara umum setelah kurang lebih 6 bulan pengamatan setelah injeksi telah kembali ke aktifitas latar belakang kecuali aktifitas tritium pada sumur W-7A. Pada sumur W-7A, enam bulan setelah injeksi, aktifitas tritium masih secara nyata lebih tinggi dari aktifitas latar belakang. Hal ini juga menunjukkan bahwa alur aliran utama air tanah dari sumur injeksi W-12 adalah menuju W-7A karena pada saat yang sama yaitu 6 bulan setelah injeksi, aktifitas tritium pada sumur injeksi W-12 masih secara signifikan lebih tinggi dari aktifitas latarbelakang seperti terlihat pada Gambar 9.



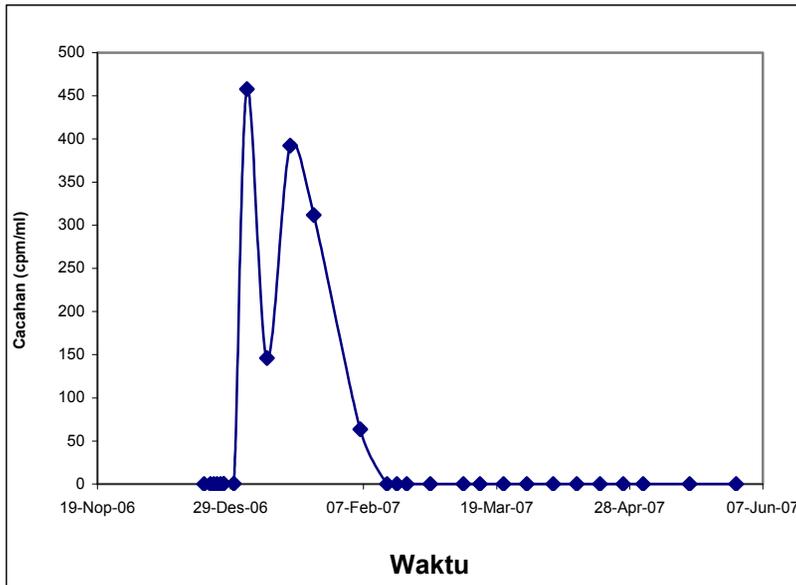
Gambar 3. Kurva *breakthrough* perunut tritium pada sumur W-2



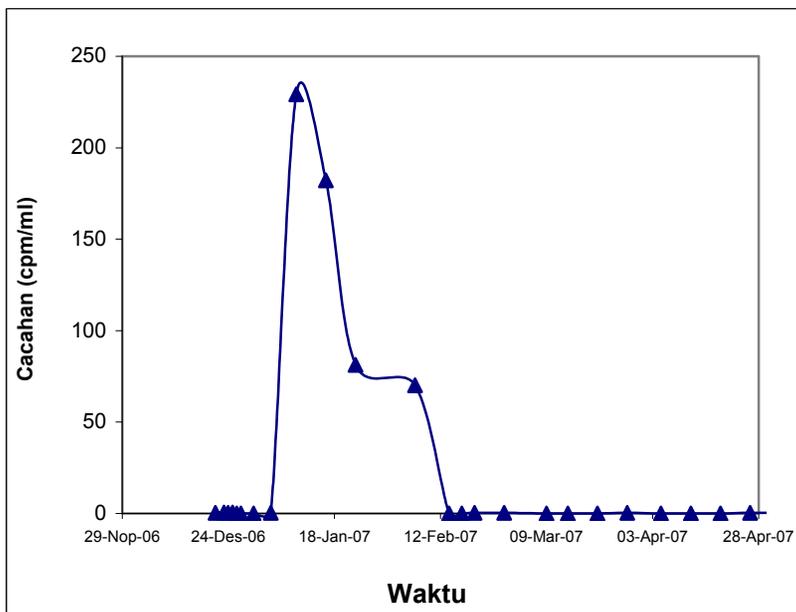
Gambar 4. Kurva *breakthrough* perunut tritium pada sumur W-7A



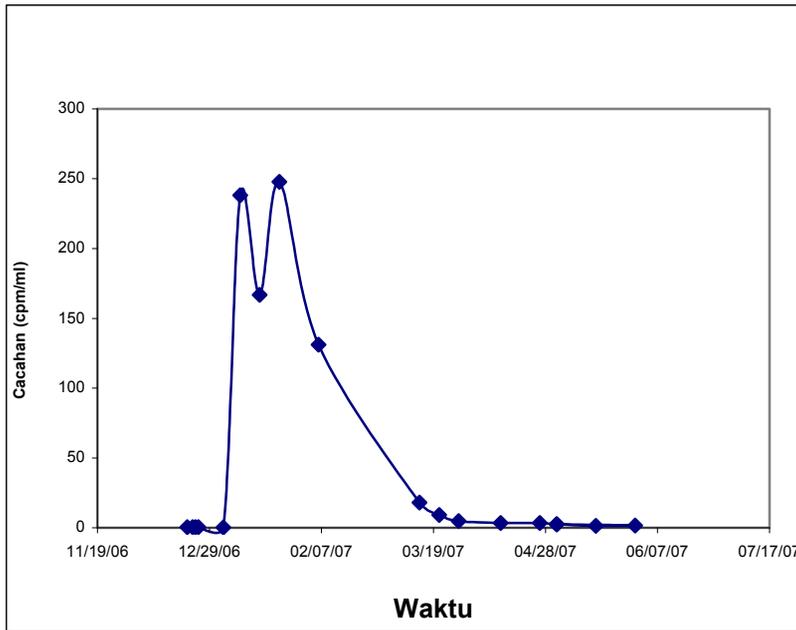
Gambar 5. Kurva *breakthrough* perunut tritium pada sumur W-7B



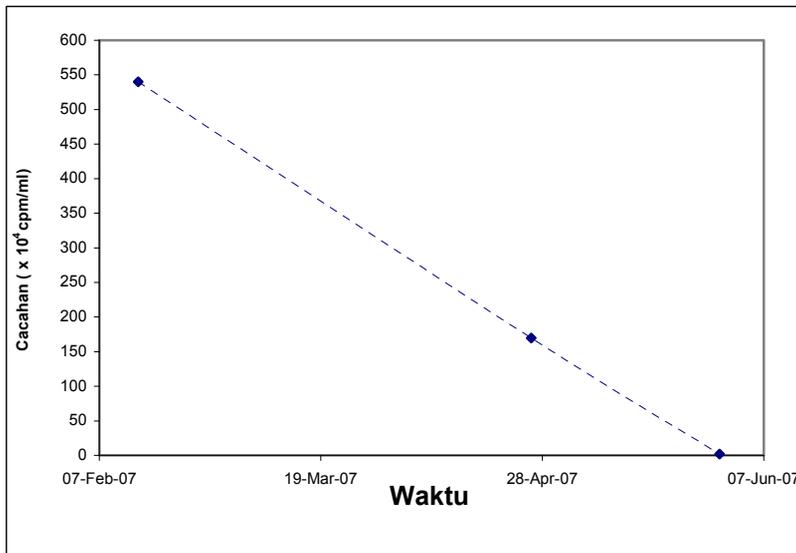
Gambar 6. Kurva *breakthrough* perunut tritium pada sumur W-9



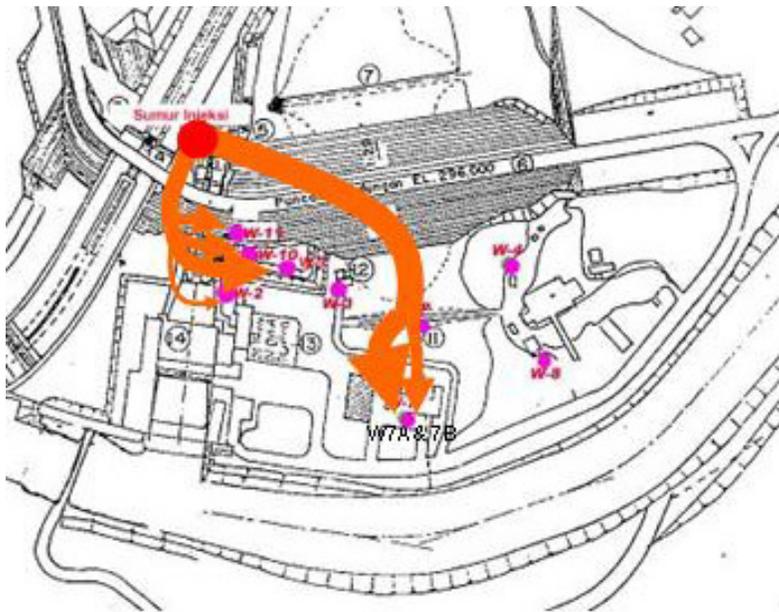
Gambar 7. Kurva *breakthrough* perunut tritium pada sumur W-10



Gambar 8. Kurva *breakthrough* perunut tritium pada sumur W-11



Gambar 9. Aktifitas ³H pada sumur injeksi W-12



Gambar 10. Skema perjalanan perunut dari sumur injeksi W-12

KESIMPULAN

- Dari hasil penelitian yang diperoleh, anomali aktifitas tritium terjadi pada enam sumur pantau yaitu: W-2, W-7A, W-7B, W-9, W-10, dan W-11.
- Anomali tercepat ditemui pada sumur pantau W-7A dan W-7B. Waktu tempuh muka kabut perunut tritium dari sumur injeksi W-12 ke kedua sumur ini adalah ≤ 7 hari. Melihat jarak yang relatif jauh jika dibanding dari sumur pantau lainnya dan besarnya perunut yang mengalir kekedua sumur ini, maka disimpulkan kedua sumur ini khususnya W-7A berada dalam alur utama aliran air tanah dari sumur injeksi.
- Aliran dari sumur injeksi ke sumur pantau lainnya yang mengalami anomali (W-2, W-9, W-10, dan W-11) mungkin mengalami hambatan oleh lapisan dengan permeabilitas rendah. Hal ini disimpulkan karena waktu tempuh kabut perunut tritium yang lebih besar yaitu sekitar 10 hari padahal jaraknya jauh lebih pendek

jika dibanding dengan sumur W-7A&B. Karena hambatan ini aliran yang terjadi mungkin harus melalui *pathway* yang lebih panjang.

- Aktifitas tritium yang tidak mengalami anomali pada W-3A&B menunjukkan kedua sumur ini berada pada lapisan akuifer yang berbeda dengan sumur pantau lainnya yang mengalami anomali aktifitas tritium.

DAFTAR PUSTAKA

1. PJT I-P3TIR BATAN, "Laporan akhir: Identifikasi Lokasi Bocoran dengan Teknik Radioisotop di Bendungan Sengguruh, Malang (Lanjutan)" (2005).
2. PJT I-P3TIR BATAN, "Laporan akhir: Penentuan Transit Time Dari Titik Bocoran Yang Dicurigai Dengan Rhodamine WT di Bendungan Sengguruh, Malang" (2004).
3. PJT I-P3TIR BATAN, "Laporan akhir: Identifikasi Lokasi Bocoran dengan Teknik Radioisotop di Bendungan Sengguruh, Malang" (2003).
4. BEDMAR, A.P. AND ARAGUAS, L., *Detection and Prevention of Leaks from Dams*, A.A. Balkema publishers, Lisse - Abington - Exton - Tokyo (2002).
5. DROST, W. AND MOSER, H., "Leakage from lakes and Reservoirs", *Guide Book on Nuclear Techniques in Hydrology*, Technical Report Series No. 91, IAEA, Vienna (1983).
6. SHUKLA, M.K., KASTANEK, F.J., AND NIELSEN, D.R., "Inspectional Analysis of Convective-Dispersion Equation and Application on Measured Breakthrough Curve", *Soil Sci. Soc. Am. Journal*, v. 66, no. 4, pp 1087-1094 (2002).
7. ZEMEL, B., *Developments in Petroleum Science: Tracers in The Oil Field*, Elsevier Science, Amsterdam (1995).